

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra konstrukce výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Manipulátor pro montáž a demontáž lavice

Manipulator for Assembly and Disassembly of the Bench

Student:

Vedoucí práce:

Filip Orlík

Ing. Michal Kolesár, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student:

Filip Orlík

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2302R010 Konstrukce strojů a zařízení

Specializace:

21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení

Téma:

Manipulátor pro montáž a demontáž lavice
Manipulator for Assembly and Disassembly of the Bench

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení pro manipulaci se sedadlovou lavicí dodávkového automobilu. Proveďte analýzu požadovaných pohybů pro přesun a možných použitelných variant mechanismů pro jejich realizaci. Navrhněte manipulátor s vhodnými mechanismy, proveďte jeho technickou dokumentaci, související výpočty a návod k použití.

Požadavky na vlastnosti mechanismu pro manipulaci:

- použitelné pro běžné typy dodávkových automobilů
- obsluhu v plném rozsahu zvládá 1 samostatná osoba
- manipulace posuvu v kabině automobilu
- manipulace přesunu mezi kabinou na vnějším pevném a rovném terénu
- manipulace posuvu po vnějším terénu
- minimalizace rozměrů a výrobních nákladů

Seznam doporučené odborné literatury:

KUBA, F.: *Pružnost a pevnost*, Vysoká škola báňská Ostrava, Ediční středisko VŠB, Ostrava 1990.

HUBKA, V.: *Konstrukční nauka*, Heurista, Zürich, 1995. 118 s. ISBN 80-90-1135-0-8.

HORYL, Petr. *Statika a dynamika*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996, 218 s. ISBN 80-7078-971-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Kolesár, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě, 18. května 2020



.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledky její obhajoby.

V Ostravě, 18. května 2020



Podpis studenta

Jméno a příjmení autora:

Filip Orlík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jakubčovice 13, 74741 Hradec nad Moravicí

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Orlík, F. *Manipulátor pro montáž a demontáž lavice*: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Konstrukce výrobních strojů a zařízení, 2020, 41 stran. Vedoucí práce Ing. Michal Kolesár, Ph.D.

Cílem této bakalářské práce je konstrukční návrh zařízení, díky kterému bude jednočlenná obsluha schopna montáže a demontáže sedačkové lavice osobních a dodávkových automobilů.

V první, teoretické části se zabývám analýzou uchycení a způsobem manipulace sedačkové lavice uvnitř vybraného segmentu automobilů. Druhá, praktická část je zaměřena na konstrukční návrh jednotlivých funkčních částí mechanismu. Zabývám se v ní nejen volbou materiálu, ale každou část podrobuji pevnostní analýze pro potvrzení správnosti konstrukčního řešení. Výkres celé sestavy s kusovníkem a návod k použití je zvlášť přiložen k práci.

ANNOTATION

Orlík, F. *Manipulator for Assembly and Disassembly of the Bench*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2020, 41 pages. Head of Thesis Ing. Michal Kolesár, Ph.D.

The aim of this bachelor's thesis is the design of the device, thanks to which the one-member operator will be able to assemble and disassemble the seat bench of cars and vans.

In the first, theoretical part, I deal with the analysis of the attachment and the method of handling the seat bench within a selected segment of cars. The second, practical part is focused on the design of individual functional parts of the mechanism. I deal not only with the choice of material, but I subject each part to strength analysis to confirm the correctness of the structural solution. A drawing of the entire assembly with the bill of materials and instructions for use are attached to the work separately.

Obsah

Úvod	11
1 Rešeršní studie	12
1.1 Jednouúčelové manipulátory.....	13
1.2 Univerzální manipulátory.....	13
1.2.1 Synchronní manipulátory (teleoperátory).....	14
1.2.2 Programovatelné manipulátory	14
1.3 Stanovení cíle bakalářské práce.....	15
2 Analýza problému	16
2.1 Popis mechanismu sedací lavice.....	16
2.1.1 Poloha sedadla při demontáži	16
2.2 Popis mechanismu uvnitř automobilu.....	17
2.3 Zdravotní hledisko	17
2.4 Návrh na zlepšení.....	18
2.5 Analýza zatížení mechanismu	18
3 Obecný model postupu při konstruování	19
4 Praktická část	20
4.1 Návrh manipulátoru pro montáž a demontáž lavice.....	20
4.1.1 Stanovení cílů a úkolů konstrukčního procesu.....	20
4.2 Varianty řešení manipulátoru pro montáž a demontáž lavice	21
4.3 Volba varianty konstrukčního řešení	22
4.4 Návrh a pevnostní analýza rámové konstrukce.....	23
4.4.1 Volba profilového materiálu.....	23
4.4.2 Pevnostní analýza rámové konstrukce pomocí Metody konečných prvků. 26	
4.5 Návrh a pevnostní analýza lineárního vedení.....	29
4.5.1 Volba použitého materiálu a způsobu provedení	29
4.5.2 Pevnostní analýza lineárního vedení.....	29
4.6 Návrh a pevnostní analýza pojezdové plošiny.....	32
4.6.1 Pevnostní analýza pojezdové plošiny	32
4.7 Návrh a pevnostní analýza zvedacího mechanismu	33

4.7.1	Volba profilového materiálu.....	33
4.7.2	Pevnostní analýza zvedacího mechanismu	33
4.7.3	Návrh a výpočet rozměrů pohybového šroubu pro zvedací mechanismus	35
5	Závěr.....	38
	Použitá literatura.....	39
	Seznam příloh.....	41

Seznam použitých symbolů a zkratk

β	koeficient zohledňující vliv zatím neznámého krutu	[-]
d	velký průměr závitu šroubu	[mm]
d_2	střední průměr závitu šroubu	[mm]
d_3	malý průměr závitu šroubu	[mm]
d_3'	předběžně vypočtená velikost jádra závitu	[mm]
D	velký průměr závitu šroubu	[mm]
D_1	malý průměr závitu matice	[mm]
D_2	střední průměr závitu matice	[mm]
D_{TO}	třecí průměr kontaktu opěrky šroubu	[mm]
E	Youngův modul pružnosti	[MPa]
f	součinitel smykového tření	[-]
f_z	koeficient tření v závitu	[-]
ϕ'	redukovaný třecí úhel	[°]
F_{KR}	kritická síla	[N]
$G = F_O$	tíha břemene	[N]
j_{min}	minimální kvadratický poloměr průřezu jádra	[-]
k_S	koeficient statické bezpečnosti	[-]
k_{TET}	kontrola na vzpěr podle Tetmajera	[-]
L_{VZP}	maximální zdvih šroubu	[mm]
λ_ξ	štíhlostní poměr šroubu	[-]
λ_M	mezní štíhlost	[-]
m	hmotnost	[kg]
M_K	celkový hnací krouticí moment	[N·m]
M_{TO}	třecí moment reakce	[N·m]

M_{TZ}	obvodová momentová složka reakce	[N·m]
n	pružný vzpěr	[-]
P	rozteč závitu	[mm]
ψ	úhel stoupání šroubovice závitu	[°]
σ_d	normálové napětí	[MPa]
σ_D	dovolené napětí	[MPa]
$\sigma_{Kd} = R_e$	mez kluzu	[MPa]
σ_{red}	redukováné napětí	[MPa]
σ_T	kritické napětí	[MPa]
σ_u	mez úměrnosti materiálu	[MPa]
τ	smykové napětí	[MPa]

Úvod

Přenášení, posouvání, zdvihání, převážení neboli obecně manipulace, je nejzákladnější a nejčastější úkon, který při většině prací člověk nebo stroj dělá. Ať už se to týká těch nejmenších předmětů, se kterými pracujeme v laboratořích, přes velké dílenské prvky či strojní sestavy, až po nadrozměrné části mechanismů, za které mohu jmenovat například listy větrných elektráren.

Obecně lze konstatovat, že jde o jakoukoliv činnost, jejímž výsledkem je změna polohy předmětu v axiálním, potažmo radiálním směru. Podle velikosti, složitosti nebo hmotnosti pohybovaného břemene lze k této činnosti využít lidskou sílu, jednoduchý pomocný manipulátor, stroj ovládaný operátorem, poloautomatizované manipulační systémy či v současné době stále více se rozvíjející robotické aplikace. Pro zvolení správného způsobu práce daného systému je však nezbytné jasně a přesně zanalyzovat vhodnost jednotlivých typů manipulačních aplikací v kontextu našich potřeb, abychom byli schopni zvolit tu nejjednodušší, nejefektivnější a především nejbezpečnější variantu.

Bakalářská práce se zabývá návrhem a optimalizací manipulačního mechanismu určeného pro jednoduchou montáž a demontáž sedací lavice z osobního automobilu Volkswagen Multivan. Mechanismus samotný se snažím navrhnout univerzální, aby ho bylo možné použít pro stejný účel u jiných typů osobních a dodávkových vozidel. V současné době na trhu neexistuje žádný pomocný systém tohoto typu, díky kterému by byl člověk schopen tento úkon zvládnout bez pomoci druhé osoby. Konstrukční řešení lavice samotné a způsob uchycení k podlaze vozidla zároveň v žádném ohledu není vstřícná tomu, aby jakákoliv manipulace spojená s vytažením břemene z vozidla byla snadná.

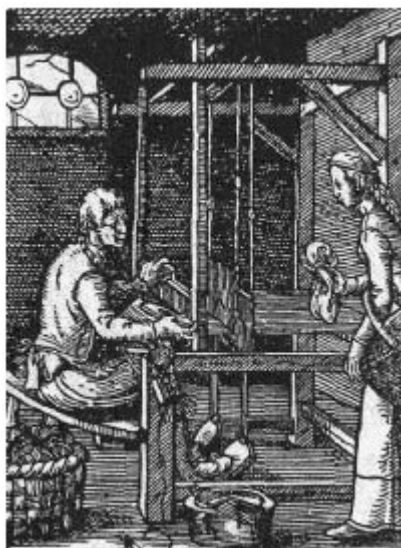
Tyto lavice mají obecně několik zásadních nedostatků. V první řadě je to tvar lavice samotné. Převážná většina lavic není opatřena žádnými prvky usnadňujícími jejich manipulaci, jakými mohou být úchyty, popruhy nebo záchytné body pro háky. Další velkou nevýhodou je jejich váha, které se pohybuje mezi 75 až 85 kilogramy.

V konstrukčním řešení mechanismu musím zohlednit různorodost provedení lavice, proměnlivou výšku vozidel, pro která je mechanismus navržen a v neposlední řadě rozpětí hmotnostního zatížení. Po vyjmutí sedačky z kabiny automobilu bude manipulátor zároveň sloužit jako bezpečný mobilní stojan, určený i pro pohyb po mírně nerovném povrchu.

1 Rešeršní studie

Od nepaměti lidé neustále přemýšleli nad tím, jak si svou práci usnadnit a zefektivnit. Po většinu času vývoje našeho druhu, byla naprostá většina z nás odsouzena k celoživotní tvrdé a fyzicky vyčerpávající práci. Tuto skutečnost si nejlépe uvědomíme při návštěvě historických skanzenů či muzeí. V minulosti, kdy ještě nebyla dostupná žádná pomocná zařízení, se člověk této dřině mohl vyhnout jedině tím, že ji delegoval na jiného člověka. V současnosti se tomuto způsobu řešení říká otrokářství. V určitém slova smyslu se s tímto systémem setkáváme i dnes. Jeho průběh a především podmínky, za jakých je vykonán, jsou ovšem naprosto nesrovnatelné. Využíváme jej na těžko automatizovatelnou práci, kdy si najmeme člověka neboli pracovníka (řemeslník, dělník, apod.), který pro nás úkol vykoná.

Rozvoj veškerých primitivních pomocných zařízení byl pozvolný, jako například kolečka, jednoduché vozíky apod. Šel ruku v ruce s postupným rozvojem řemesel, průmyslu od mechanizace přes automatizaci až k robotizaci. Za jedno z nejstarších zařízení pro ulehčení lidské práce, které mělo určitou technickou úroveň, považujeme tkalcovský stav.



Obr. 1 – Primitivní tkalcovský stav [4]

Každý další vynález byl kvalitnější a složitější, díky čemuž mohl nahradit lidskou manuální práci, zejména při manipulaci s nebezpečným materiálem. Například ve dvacátém století se začaly používat speciální teleoperátory pro manipulaci s radioaktivním a jiným nebezpečným materiálem. [4][8]

1.1 Jednoučelové manipulátory

Vyznačují se omezenými pohybovými možnostmi, kdy úroveň jejich funkcí a řízení odpovídá dané aplikaci.

Mezi jednoučelové manipulátory můžeme zařadit například paletový vozík nebo rudl sloužící pro přemísťování materiálu ve vodorovném směru po zpevněném povrchu. Jsme s nimi schopni přemísťovat relativně těžká břemena s využitím malé síly. [4][8]



Obr. 2 – Paletový vozík [5]

Můžeme zde zařadit i součásti výrobních linek pro velkosériovou a hromadnou výrobu, vykonávající jednoduché, opakující se operace. Z důvodu integrace do výrobní linky bývá jejich řízení, funkce a někdy i pohon závislý na pohonu samotné linky. Funkční a pohybové vlastnosti i samotná konstrukční řešení jsou často na míru uzpůsobeny dané aplikaci.

1.2 Univerzální manipulátory

Vyznačují se širokými možnostmi využití a možností přizpůsobit se dané technologii. Ve skladovém hospodářství takto můžeme označit vysokozdvížné vozíky bez ohledu na to, zda jsou na ruční, elektrický či jiný druh pohonu.



Obr. 3 Vysokozdvížný vozík ruční (vlevo), elektrický (vpravo) [6][7]

V rámci průmyslové výroby se univerzální manipulátory vyznačují nezávislostí na stroji, který obsluhují a vlastním řídicím systémem. Rozlišujeme manipulátory synchronní a programovatelné. [4][8]

1.2.1 Synchronní manipulátory (teleoperátory)

Jedná se o manipulační zařízení přímo řízené člověkem. Jejich hlavním účelem a vlastností je zesílovat silové a pohybové schopnosti řídícího pracovníka. Nejsou nijak závislé na obsluhovaném stroji. Jejich práce je přímo závislá na pokynech řídícího pracovníka, který zároveň zodpovídá za přesné nastavení a polohu manipulačního nástroje. Řízení se provádí buď manuálně, kdy je například řídící ústrojí přímo připevněné k rukám pracovníka, nebo za pomoci dálkového ovládání pro případ manipulace s nebezpečnými látkami či radioaktivním materiálem. [8]



Obr. 4 – Pneumaticky poháněný manipulátor (teleoperátor) [8]

1.2.2 Programovatelné manipulátory

Jsou řízeny vlastním programovým systémem. Veškeré jejich funkce a pohonné ústrojí je nezávislé na obsluhovaném stroji. Tyto manipulátory můžeme dále dělit na:

a) Manipulátory s pevným programem

Během pracovního cyklu se jejich program nemění. Programové ústrojí je díky tomu velmi jednoduché. Můžeme je nazývat průmyslovými roboty nejnižší úrovně.

b) Manipulátory s proměnlivým programem

Mají možnost přepnutí nebo volby pracovního režimu podle aktuálního prostředí, ve kterém se nacházejí. Jsou vybaveny adaptivním řízením a v současné době jejich provedení představuje špičku v průmyslové výrobě.

c) Kognitivní roboty

Jedná se o systémy schopné vnímat a racionálně se rozhodovat za účelem správného splnění svěřeného úkolu. Jejich racionalita je omezena pouze k překonání překážek souvisejících se splněním stanoveného cíle. Nejsou tedy schopni volného jednání. Hlavní charakteristikou je schopnost učení a přizpůsobení se za účelem splnění úkolu. [4][8]

1.3 Stanovení cíle bakalářské práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvoření univerzálního manipulačního zařízení pro montáž a demontáž lavice z kabiny osobního či užitkového vozidla za využití jedné osoby.

Dílčí cíle:

- navrhnout mechanismus tak, aby byl lehký na obsluhu
- navrhnout mechanismus na nejvyšší technickou úroveň

2 Analýza problému

Tato část je věnovaná shrnutí jednotlivých funkčních vlastností sedačkové lavice a pojezdového mechanismu uvnitř vozu Volkswagen Multivan. Zaměřím se na popis lavice samotné od variability použití, způsobu uchycení k podlaze automobilu, poloze sedadla při demontáži. Dále se zde zabývám popisem posuvného mechanismu uvnitř automobilu, způsobu odjištění lavice od podlahy a zdravotními hledisky spojenými s manipulací s lavicí. V neposlední řadě jsem se zaměřil na zlepšení celého mechanismu uvnitř vozidla, aby demontáž sedačkové lavice byla snadnější.

2.1 Popis mechanismu sedací lavice

Lavice je určena pro tři pasažéry. Opěrná zádová část je vždy polohovatelná s možností sklopení vpřed do vodorovné polohy. Způsob provedení opěrné části se vyrábí v několika variantách.

- V prvním případě při polohování opěrné části polohujeme celou lavicí.
- V druhém případě je zádová část rozdělena na dvě části v poměru dva ku jedné. To znamená, že jedno krajní sedadlo má samostatně polohovatelné opěradlo a ostatní sedadla mají toto opěradlo spojeno v jednu menší lavici.
- Poslední variantou je lavice se samostatně dělenou zádovou částí pro každého pasažéra.

Dalším funkčním prvkem je polohovatelnost lavice v rámci vnitřního prostoru automobilu. Tuto funkci většinou zajišťují pojezdová kolečka na spodní části lavice v kombinaci s kolejnicí integrovanou v podlaze vozidla. Kombinace těchto prvků zabezpečuje bezpečné ukotvení lavice proti pohybu. Zároveň se díky tomuto řešení stává lavice mobilní a lze ji tak snadno v případě odjištění pojezdového mechanismu posouvat směrem vpřed či vzad. Tyto vlastnosti nám umožňují v případě potřeby zmenšit zavazadlový prostor vozidla na úkor umístění druhé řady sedadel pro cestující.

2.1.1 Poloha sedadla při demontáži

Při demontáži musí být sedadlo vždy posunuto do koncové polohy přední části vozidla. Je to z toho důvodu, že pouze v tomto místě lze lavici z automobilu vytáhnout za použití bočních posuvných dveří. Pro lepší rozložení těžiště a bezpečnější manipulaci je vždy potřeba zádovou část sklopit do vodorovné polohy. Zejména u osobních vozidel je spodní část mechanismu opatřena plastovými kryty po celém obvodu lavice. Tato úprava se provádí především za účelem zvýšení bezpečnosti proti poranění dětí, a také pro zlepšení designu celého mechanismu. Nevýhodou je absence jakýchkoli záchytných bodů pro manipulaci, ať už ve formě madel, popruhů či manipulačních otvorů pro háky. Z důvodu tvarové členitosti,

rozměrové velikosti a hmotnosti okolo 80 kg je při demontáži vždy zapotřebí minimálně dvou osob.

2.2 Popis mechanismu uvnitř automobilu

Část vozidla za sedadly řidiče a spolujezdce je opatřena integrovanými kolejovými pásy po celé délce vozidla. Jak už bylo řečeno, tyto kolejnice umožňují zvýšení variability osobní a zavazadlové části vozidla. Velkou nevýhodou celého mechanismu ovšem zůstává možnost odjištění lavice pouze v přední části vozidla.

Pouze zde jsou kolejnice opatřeny vyjímatelnými kryty pojezdu pro vertikální vyjmutí mechanismu z vedení. Když vezmeme v úvahu skutečnost, že lavice je konstruovaná tak, aby maximálně zaplnila prostor vozidla do šířky a zároveň je hloubka sedáku navržena s dostatečnou délkou pro zajištění maximálního komfortu cestujících. Pak součet těchto vlastností zapříčinil, že světlý průchod bočními dveřmi je pouze o 15 až 20 cm větší než samotná lavice. Tato skutečnost značně komplikuje samotný úkon demontáže takto rozměrného a těžkého břemene.

2.3 Zdravotní hledisko

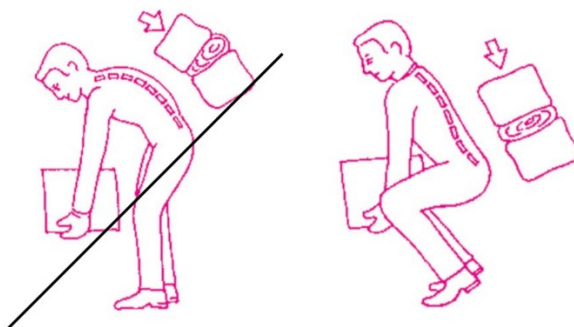
Při manipulaci s takto velkými, neforemnými a těžkými břemeny je velké riziko poranění pohybového aparátu. Zejména v oblasti zad a bederní páteře, kde může dojít k možnému poškození v důsledku vratkého postoje, prudkém pohybu břemene či při otáčení trupu. Dalším problémem souvisejícím s touto činností je nedostatek prostoru ve svislém směru nebo práce na nerovném povrchu.



Obr. 5 – Správný a špatný způsob zvedání břemene [3]

Při špatném způsobu zvedání břemene dochází velice často k pracovním úrazům projevujícím se náhlou a prudkou bolestí zad.

V pracovně právních vztazích problematiku spojenou s poškozením zdraví v důsledku manipulace s břemeny upravuje **Nařízení vlády č. 101/2005 Sb.**, které říká: „*Při manipulaci s břemeny musí být používány takové pracovní postupy, aby se předcházelo úrazům a poškození zdraví zaměstnanců, způsobeným zejména přiřážením břemene, jeho vysmeknutím, zraněním o povrch břemene, uklouznutím, zakopnutím při manipulaci s břemenem, sesutím břemen způsobeným nedostatečným upevněním, naražením nebo pádem břemene při zdvihání, přenášení, spouštění nebo nárazem zaměstnance na dopravní prostředek a na uložené předměty*“.[3][14]



Obr. 6 – Způsoby namáhání meziobratlových plotének při zvedání břemene [9]

2.4 Návrh na zlepšení

Jsem přesvědčen, že mnohem výhodnějším způsobem demontáže by bylo umístění odjišťovacího mechanismu v koncové části vozidla u dveří zavazadlového prostoru, a to hned ze dvou důvodů. Zaprvé, je u zadních dveří jednoduchý přístup k nosné konstrukci lavice, což značně ulehčuje způsob a bezpečnost manipulace s břemenem. Zadruhé, by v tomto případě nebylo nutné navrhovat speciální mechanismus, ale pouze by se jednoduchým způsobem využil jakýkoliv mechanismus na principu ručního vysokozdvížného vozíku, který bychom zezadu vsunuli pod lavici, bezpečně nadzvedli o několik centimetrů a vyjmuli z automobilu.

2.5 Analýza zatížení mechanismu

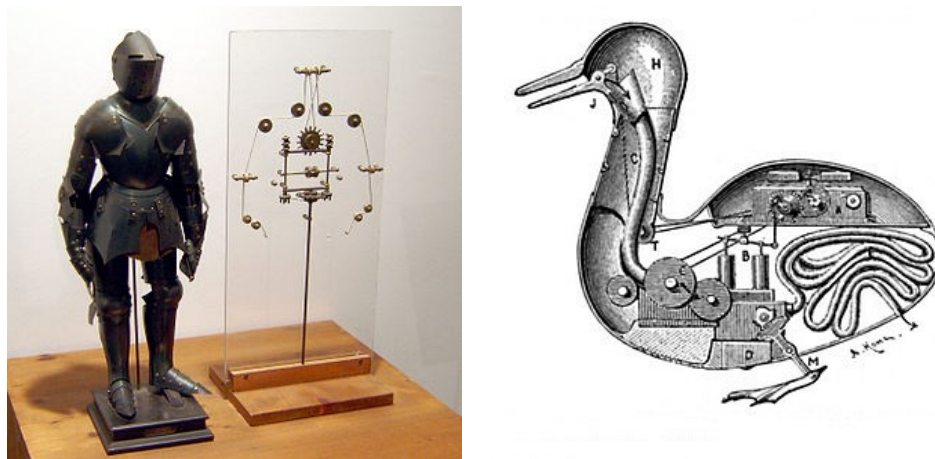
Mechanismus bude namáhán především tlakovou silou a ohybovou silou na nosných částech. Pro tyto účely budu aplikovat výpočet zatížení nosníku s využitím znalostí ze statiky a nauky o pružnosti a pevnosti. K modelaci průběhu namáhání a způsobu deformace využiji počítačových simulací, konkrétně metody konečných prvků.

3 Obecný model postupu při konstruování

Jelikož samotný proces konstruování je tvůrčí činnost, jejímž výsledkem je vytvoření něčeho zcela nového a dosud neznámého, nelze jednoznačně definovat, jak stanoveného cíle dosáhnout.

Když tedy řeknete kterémukoliv konstruktérovi, aby popsal, jakým způsobem vytváří svá řešení, dostanete ho do nepříjemné pozice, protože na vaši otázku nebude schopen jasně a přesvědčivě odpovědět.[1]

Rozvoj konstrukčních řešení byl v čase pozvolný, doplněný o občasné případy geniality některých mistrů své doby. Například geniální malíř, architekt vynálezce a konstruktér Leonardo da Vinci roku 1495 sestavil kráčejíci mechanismus, který vypadal jako obrněný voják. Jako další významný vynález můžeme zmínit první úspěšný biomechanický automat vypadající jako kachna, který roku 1738 vytvořil Jacques de Vaucanson.



Obr. 7 – Kráčejíci mechanismus (vlevo), mechanická kachna (vpravo) [10][11]

Obecný postup konstruování tedy neexistuje. Je ovšem možné díky našim předchůdcům a zkušenostem, které jsme z jejich počinání získali přesně definovat, jaké vlastnosti má výsledný produkt splňovat. Poté je podrobit analytickému hodnocení možných variant řešení a na základě výběru nejvhodnější kombinace výsledných funkcí získat hrubý obrys konstrukčního řešení. Další vývoj probíhá intuitivně dle znalostí, schopností a zkušeností konstruktéra.[10][11]

4 Praktická část

V této části se zabývám postupem při vytváření konstrukčního návrhu s možností vyřešení daného problému s maximálním využitím normalizovaných či unifikovaných komponentů. Tím zjednoduším výrobu navrženého mechanismu a ušetřím čas i náklady.

4.1 Návrh manipulátoru pro montáž a demontáž lavice

4.1.1 Stanovení cílů a úkolů konstrukčního procesu

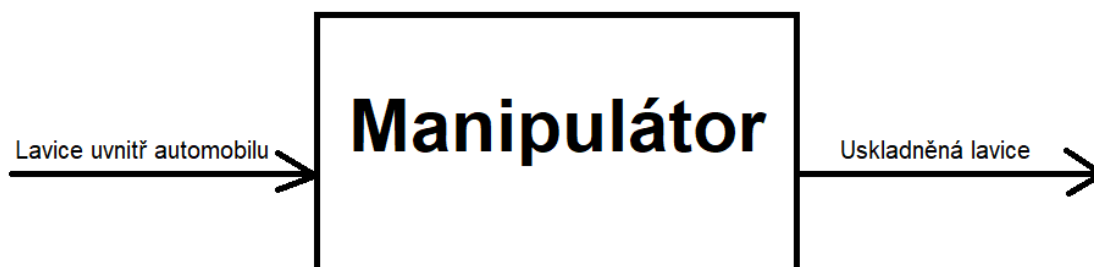
Před zahájením konstrukce samotné, musím mít specifikovány některé požadavky. Na základě analýzy problému jsem vytvořil požadavkový list, černou skříňku, technický proces a morfologickou matici. Informace získané souhrnem parametrů z těchto studií poslouží k návrhu výsledného mechanismu. [1]

Tab. 1 – Požadavkový list

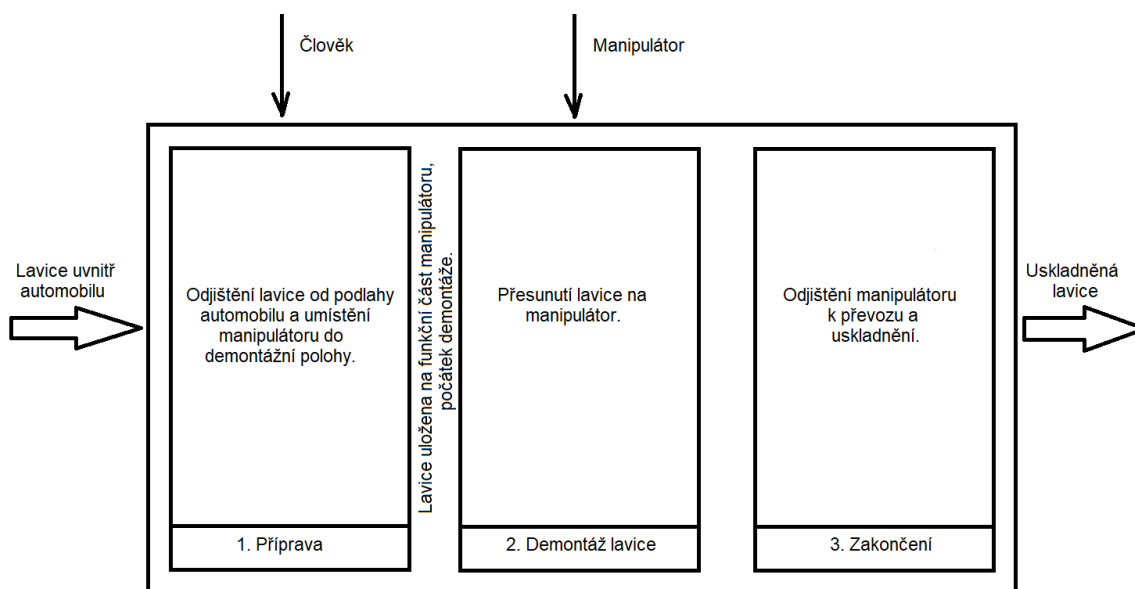
SPECIFIKACE POŽADAVKŮ	PODMÍNKA	PŘÁNÍ
Funkce, účinky a funkční parametry:		
Manipulátor:		
zajistit nosnost 90 kg	x	
Provoz:		
Prostředí: vnitřní i venkovní		x
Četnost použití: časté	x	
Údržba: minimální	x	x
Životnost: minimálně 5 let	x	
Obsluha:		
jednoduchá		x
zajistit ovladatelnost pouze jednou osobou	x	
Vzhled:		
atraktivní design		x
Mobilita:		
zajistit mobilitu celého mechanismu	x	
zajistit mobilitu i na mírně nerovném povrchu		x
opatřit zajištěním mechanismu proti samovolnému pohybu	x	
Ekonomie:		
minimální náklady na provoz	x	
minimální náklady na výrobu		x

Funkční struktura (seznam funkcí)

- Zajištění osazení manipulátoru do pozice připravené pro montáž a demontáž lavice
- Zajištění dostatečné nosnosti pro manipulaci s břemenem
- Zajištění přemístění lavice z či do automobilu
- Zajištění skladování lavice



Obr. 8 – Černá skříňka



Obr. 9 – Technický proces

4.2 Varianty řešení manipulátoru pro montáž a demontáž lavice

Za pomoci vytvoření morfologické matice stanovím nejlepší konstrukční variantu a funkce jednotlivých částí mechanismu. Díky rozdělení návrhu do samostatných funkčních celků mohu nezávisle a objektivně přistoupit ke každé části návrhu zvlášť. Výběrem nejlepších funkcí a prvků z morfologické matice dostanu ucelený přehled návrhu, který mi následně pomůže učinit další kroky konstrukčního procesu.

Tab. 2 - Morfologická matice

Díličí funkce		Funkční princip / Orgány - nositelé funkcí		
		1	2	3
1	Mobilita mechanismu	Ručně přenesením	Pomocí paletového vozíku	Vlastní pojezdová kolečka
2	Pohon mechanismu	Elektromotor	Ručně, tlačení	Spalovací motor
3	Nastavení výšky mechanismu	Stavěcí šrouby	Elektrický zdvih	Hydraulický zdvih
4	Způsob demontáže	Řetězová kočka	Ručně + kolejová dráha	Elektrický zvedák
5	Způsob uskladnění lavice	Převezení na samostatný stojan	Mechanismus je zároveň stojan	-----

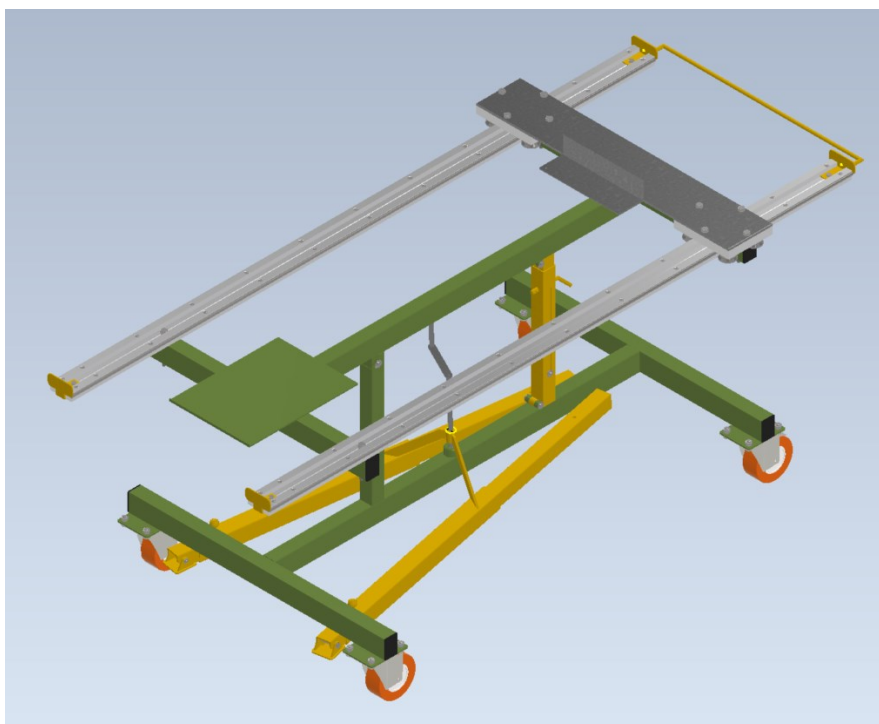
Šedě zabarvené čtverce v morfologické matici označují nejlepší funkční principy konstrukčních prvků pro mou aplikaci. [1]

4.3 Volba varianty konstrukčního řešení

Na základě požadavkového listu a za využití dalších konstrukčních metod jsem pracoval se dvěma variantami řešení.

V první variantě jsem pracoval s řešením na principu pevné jeřábové konstrukce s pojezdovými kolečky pro manipulaci v prostoru. Pracoval jsem s představou konstrukce, ve tvaru písmene U. Spodní částí jeřábu by se zajelo pod automobil, čímž zajistíme stabilitu. Na horní části bylo uvažováno se dvěma řetězovými kočkami. Na kočkách měl být zavěšen popruh nebo částečně pevná konstrukce, která by se zachytila do nosného rámu sedací lavice. Následně by se za současného zvedání obou koček lavice nadzvedla a poté s celou konstrukcí vyjela z automobilu ven. Toto řešení jsem nakonec zavrhl jako komplikované, nepraktické a těžko proveditelné. Proto jsem se přiklonil ke druhé variantě.

Pro druhou variantu řešení jsem nejprve vytvořil ruční náčrt jako podklad pro volbu jednotlivých komponentů mechanismu. Mnou zvolená konstrukce je mobilní vozík se čtyřmi otočnými koly pro jednodušší manipulaci v prostoru. Jako hlavní nosný a zároveň funkční prvek je v horní části umístěna kolejová dráha pro možnost posouvání břemene. Na kolejové dráze je umístěn posuvný prvek, který se při montáži a demontáži lavice zasune z boku pod její nosnou část. Poté se z druhé strany lavice ručně nadzvedne a celá se posune na konec manipulátoru. Ručně nesená část se bezpečně položí na statickou odkládací plochu.



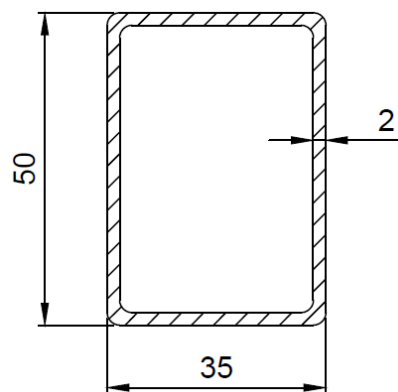
Obr. 10 – Konstrukční návrh manipulátoru

Mnou navržené konstrukční řešení se skládá z horního a dolního nosného rámů sestaveného do tvaru písmene „I“. Tyto části jsem spojil dvěma vertikálními podpěrami. Na horní části nosné konstrukce je umístěno lineární vedení s pojezdovým vozíkem pro jednoduché přesouvání břemene. Vedle lineárního vedení je zde také umístěna odkládací deska, na kterou se umístí druhá strana lavice při demontáži. V neposlední řadě jsem na mechanismus umístil vysunovací stabilizační tyče, které zároveň slouží, jako zvedací ustrojí k nastavení potřebné výšky pojezdového vozíku. V následujících částech bakalářské práce se zabývám volbou vhodného materiálu pro navržený mechanismus a pevnostními analýzami kritických míst.

4.4 Návrh a pevnostní analýza rámové konstrukce

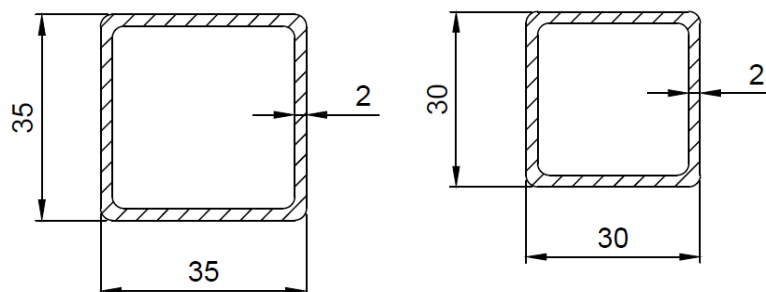
4.4.1 Volba profilového materiálu

Pro všechny hlavní horizontální nosné prvky jsem zvolil uzavřený, ocelový, tenkostěnný profil obdélníkového tvaru o jmenovitém rozměru 50 x 35 mm s tloušťkou stěny 2 mm. Svou pevností a stabilitou při zatížení dostatečně vyhovuje potřebám této aplikace. Pro spojení jednotlivých dílů použiji svařování. Profil bude orientován kratší stranou dolů, tedy tzv. na výšku. Tento způsob natočení nejlépe odolává zatížení ve svislém směru. [2]



Obr. 11 – Řez ocelovým profilem pro horizontální nosné části

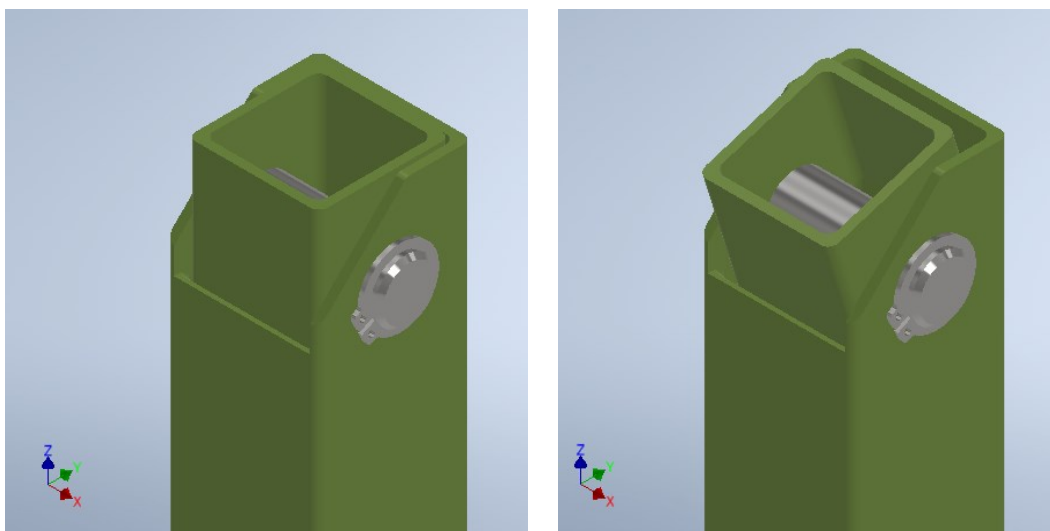
Pro svislé nosné části jsem zvolil kombinaci dvou velikostí uzavřeného, ocelového, tenkostěnného profilu čtvercového tvaru. Jedná se o profil 35 x 35 mm a profil 30 x 30 mm.



Obr. 12 – Řez ocelovými profily použitými pro svislé nosné části

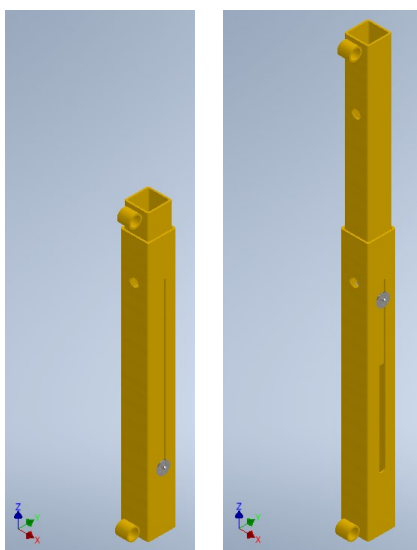
K této variantě mě přiměla potřeba rozšíření variability mechanismu. Při návrhu jsem vzal v úvahu možnost, že jsou ve vozidle umístěny dvě sedačkové lavice. V takovém případě připadají v úvahu dvě varianty řešení. První, majitel vozu vlastní dva manipulátory, což je zbytečně nákladné. Druhý, obsluha musí mít možnost sejmutí lavice z manipulátoru. Proto jsem se z důvodu zvýšení možností, kterými lze lavici sejmut rozhodl horní část nosné konstrukce navrhnout tak, aby ji bylo možné naklápět. Tato funkce umožní lavici buď sejmut na připravený stojan stejné výšky jako má manipulátor, nebo horní část sklopíme a lavici položíme na zem. [2]

K realizaci tohoto řešení jsem pro přední svislou část využil obě velikosti čtvercových profilů, které jsou do sebe částečně vloženy a spojeny čepem. Vložené konce obou profilů jsou částečně seříznuty pod úhlem 45° pro zajištění potřebného rozsahu pohybu při naklápění.



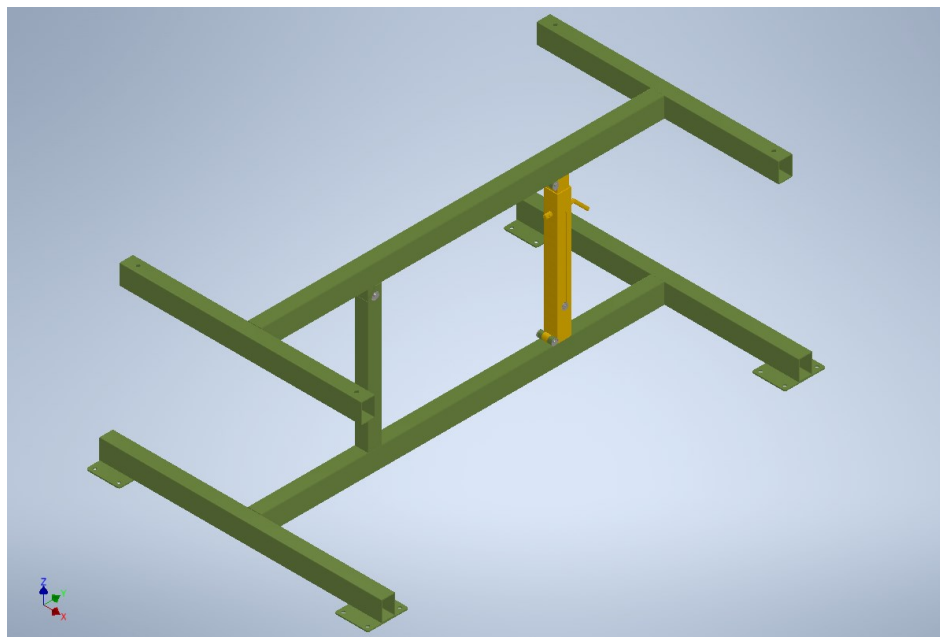
Obr. 13 – Poloha otočného uložení přední svislé vzpěry ve spuštěném (vlevo) a vysunutém (vpravo) stavu naklápěcí horní části

Zadní svislou část jsem opět navrhl jako kombinaci těchto dvou profilů. V tomto případě je menší profil zasunut ve větším v celé délce. Vytvářejí tak, teleskopický prvek. Jelikož jsou v obou profilech otvory pro zasunutí aretačního kolíku, můžeme mechanismus bezpečně zajistit proti pohybu, a to jak v zasunuté, tak ve vysunuté poloze. Uchycení ke spodní a horní části nosné konstrukce zajišťují čepy. [2]



Obr. 14 – Poloha teleskopické zadní svislé části v zasunutém (vlevo) a vysunutém stavu (vpravo)

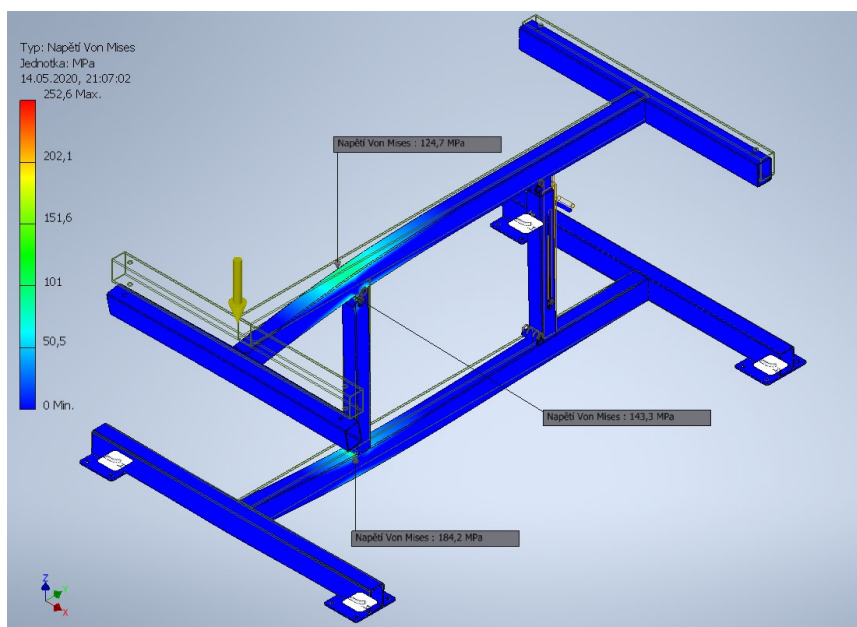
4.4.2 Pevnostní analýza rámové konstrukce pomocí Metody konečných prvků



Obr. 15 – Sestava nosné konstrukce

Z analýzy funkčního použití jsem specifikoval dva extrémní stavy namáhání rámové konstrukce. Jedním z nich je zatížení přední části mechanismu při nakládání sedačkové lavice. V tomto okamžiku je veškerá váha lavice soustředěna pouze na přední horizontální část. Ke druhé situaci dojde při naložení lavice na manipulátor. Přední i zadní horizontální část je souměrně zatížená polovinou váhy manipulovaného břemene.

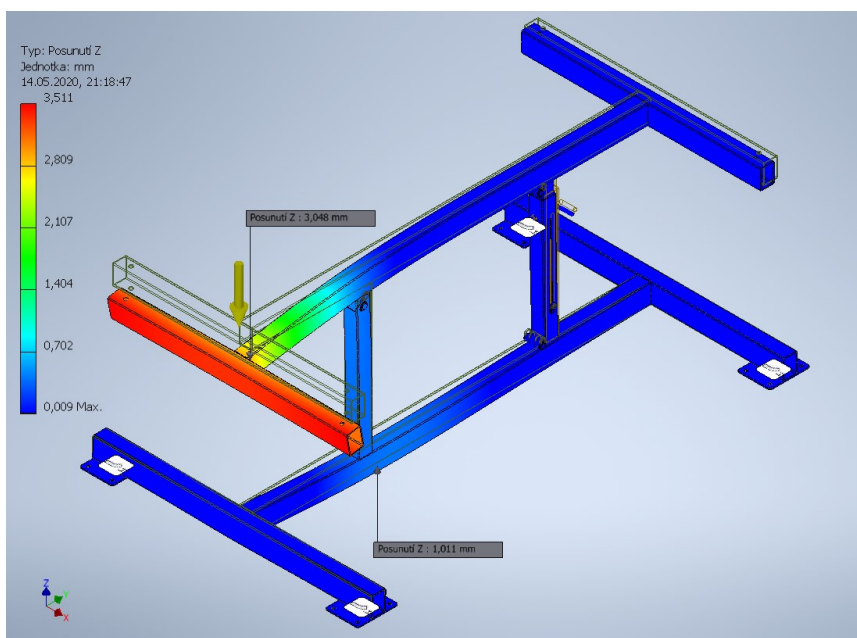
Protože čistá hmotnost sedačkové lavice se pohybuje v rozmezí 75 až 85 kg, budu mechanismus pro splnění provozní bezpečnosti zatěžovat kritickou silou $F_{KR} = 2000 \text{ N}$. Pevnými vazbami ukotvím desky pro montáž transportních koleček.



Obr. 16 – Průběh namáhání při zatížení přední části nosné konstrukce

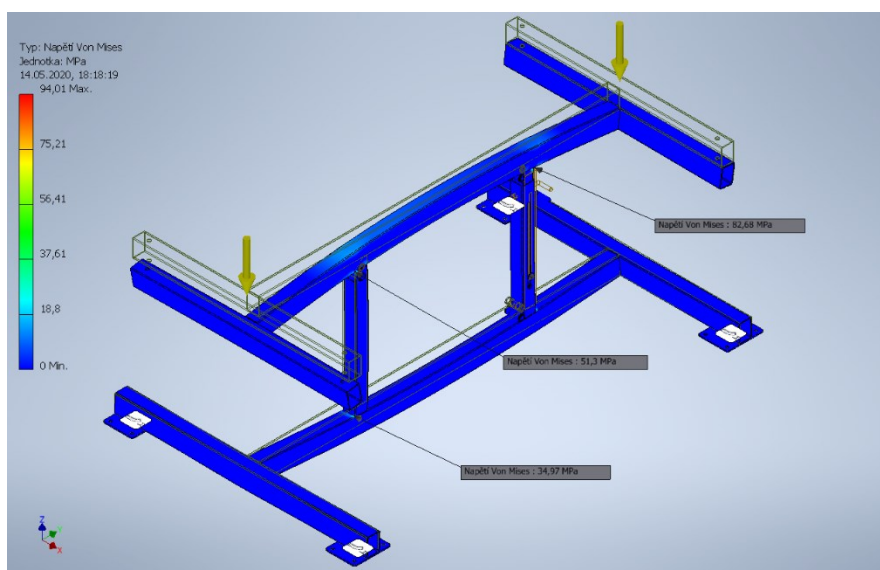
Na Obr. 16 vidíme průběh normálového napětí v rámové konstrukci. Díky barevné škále napětí vidíme, že nejvyšších hodnot dosahuje u přední svislé podpěry. Zde je nejvíce namáhána horní část středového profilu a dolní část v místě spojení se svislou podpěrou.

Obr. 17 znázorňuje prohnutí rámové konstrukce ve svislém směru při namáhání přední části. K pružným deformacím dochází v celé konstrukci, nejvíce však v přední horní části a pod přední svislou vzpěrou.



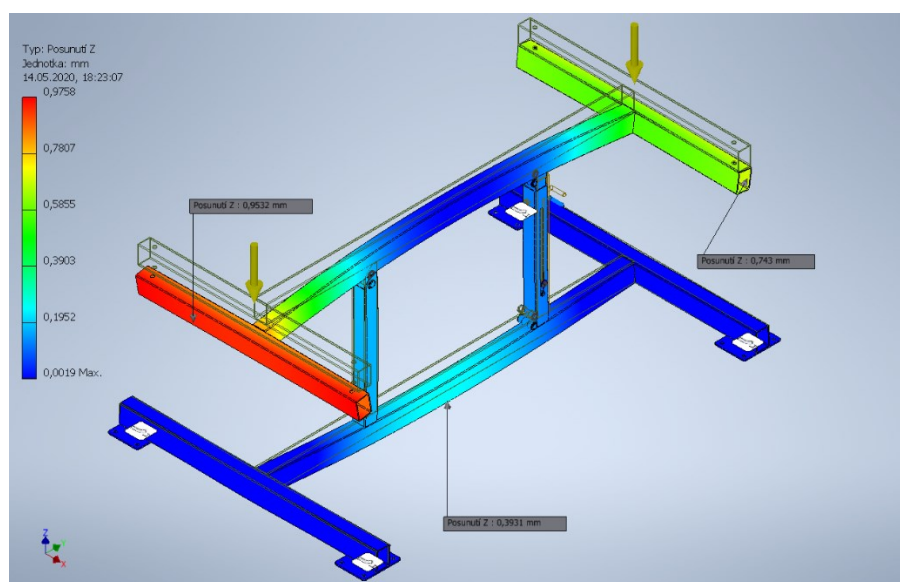
Obr. 17 – Průběh deformace při zatížení přední části nosné konstrukce

V případě, kdy je lavice při manipulaci přesně uprostřed mechanismu, dochází k souměrnému zatížení přední a zadní části. Z toho důvodu jsem při pevnostní analýze rozdělil kritickou sílu $F_{KR} = 2000 \text{ N}$ souměrně mezi přední a zadní část rámové konstrukce. Pevné vazby jsou opět aplikovány na desky pro montáž transportních koleček.



Obr. 18 – Průběh namáhání při souměrném zatížení přední a zadní části nosné konstrukce

Z pevnostní analýzy na Obr. 18 je zřejmé, že při symetrickém rozložení zatížení dosahuje maximum násobně nižších hodnot. Stejně tomu je v případě posunutí konstrukce, které je při tomto způsobu namáhání menší než 1 mm. Jeho směr a velikost vidíme na Obr. 19.



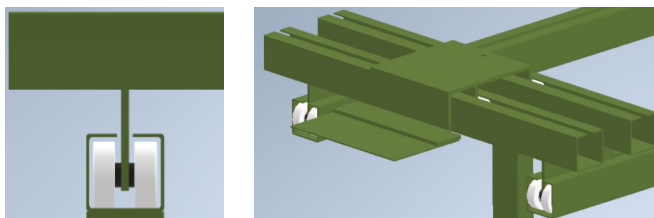
Obr. 19 – Průběh deformace při souměrném zatížení přední a zadní části nosné konstrukce

Analýzou jsem zjistil, že ani jeden z mnou predikovaných kritických způsobů namáhání žádným způsobem neohrožuje stabilitu a funkčnost rámové konstrukce.

4.5 Návrh a pevnostní analýza lineárního vedení

4.5.1 Volba použitého materiálu a způsobu provedení

Při návrhu kolejového mechanismu jsem nejprve použil ocelový profil tvaru písmene O, který byl z jedné strany částečně otevřený. Do profilu jsem integroval dvě řady zdvojených pojezdových koleček pro zajištění stability. Toto řešení jsem nakonec zavrhl, jako nekoncepční a zbytečně složité.

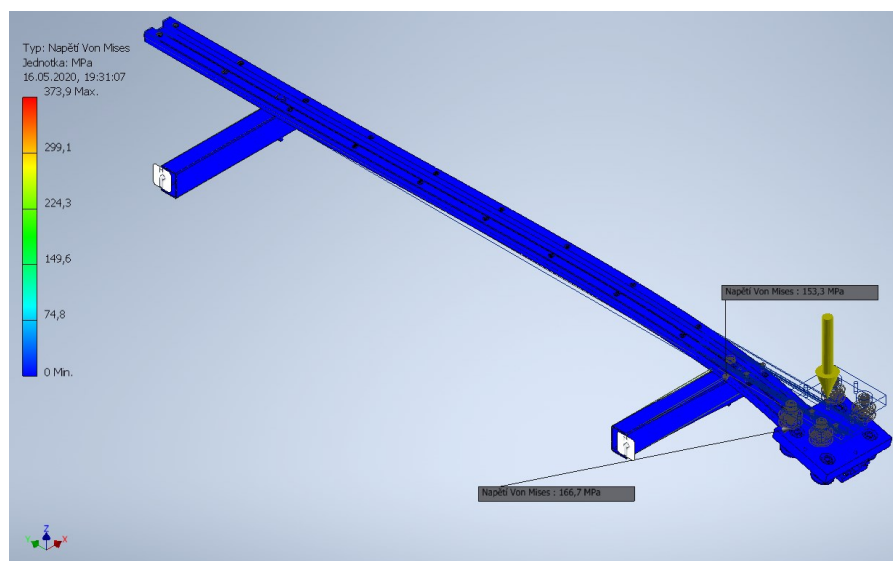


Obr. 20 – Prvotní návrh lineárního vedení

Proto jsem se rozhodl aplikovat již existující lineární vedení dodávané společností T.E.A. TECHNIK s. r. o. Jedná se o produkt Alurol, který je stavebnicovým systémem složeným z vodící kolejnice, vodících nebo podpurných roln a nosné desky. Katalog součástí je obsahem přílohy C. Pro mé účely jsem zvolil provedení tvořené hliníkovým profilem s tvrdě chromovanou vodící tyčí. Pro tělo nosné desky jsem rovněž zvolil hliníkový materiál. Konstrukce se oproti ocelovému provedení značně odlehčí a pevnost materiálu je také dostatečná. [13]

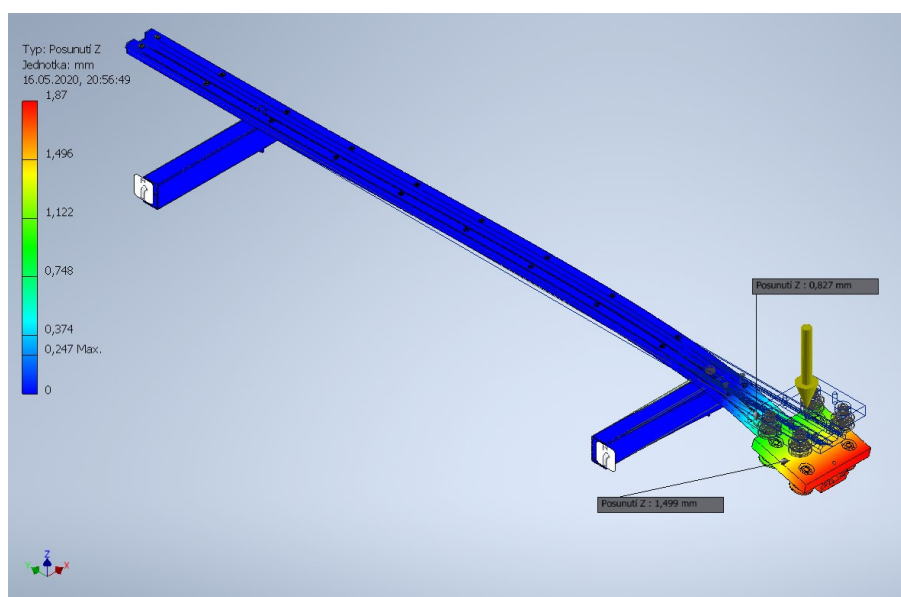
4.5.2 Pevnostní analýza lineárního vedení

V mechanismu jsem použil dvou totožných kusu lineárního vedení umístěných na okrajích nosné konstrukce. Nosné desky obou vedení jsou spojeny nosnou deskou, která ponese celou váhu sedačkové lavice. Z toho vyplývá, že zatížení obou kolejnic bude stejné. Proto mohu jejich namáhání považovat za symetrické. A v pevnostní analýze se budu věnovat pouze jedné části vedení, namáhané poloviční kritickou silou, tedy $F_{KR} = 1000 \text{ N}$. Pevné vazby jsem ukotvil na přední a zadní část horní nosné konstrukce, poloviční délky.

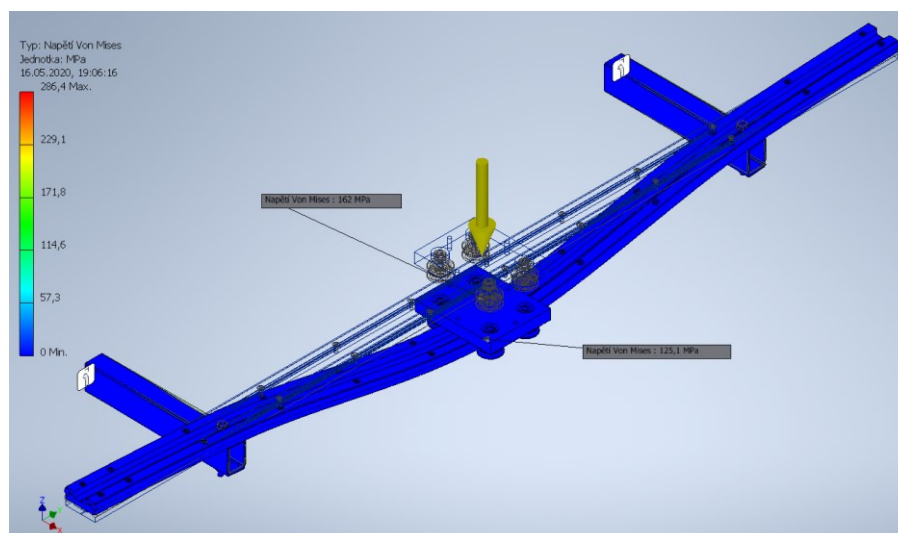


Obr. 21 – Průběh namáhání při zatížení konce lineárního vedení

Síla působící na horní stranu nosné desky umístěné na konci vedení způsobí prohnutí ve svislém směru s maximální hodnotou 1,87 mm. Současně vzniklé normálové napětí může bodově dosáhnout až 380 MPa. Napětí s takovou hodnotou může vznikat v meziuzlových vazbách způsobených nedokonalostí síťování při počítačové simulaci. Z toho důvodu maximální napětí zanedbám.

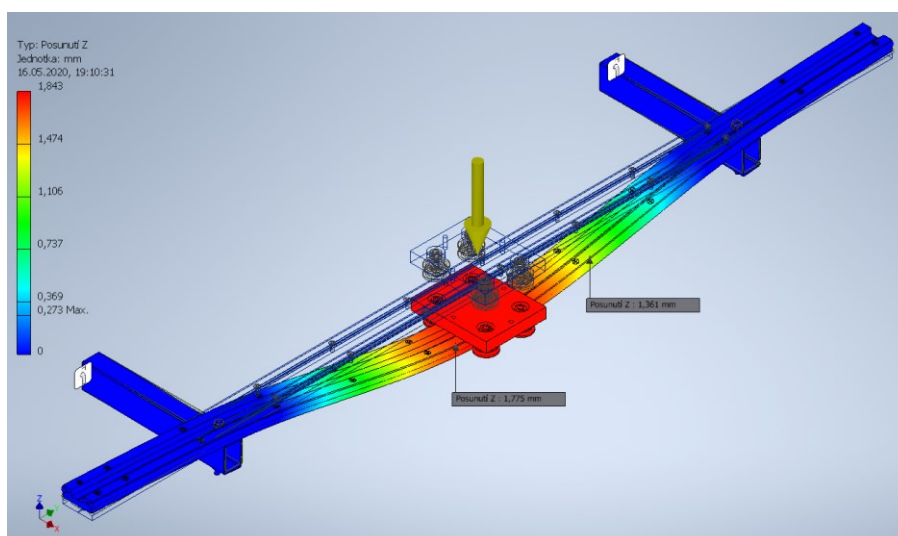


Obr. 22 – Průběh deformace při zatížení konce lineárního vedení



Obr. 23 – Průběh namáhání lineárního vedení při zatížení uprostřed jeho délky

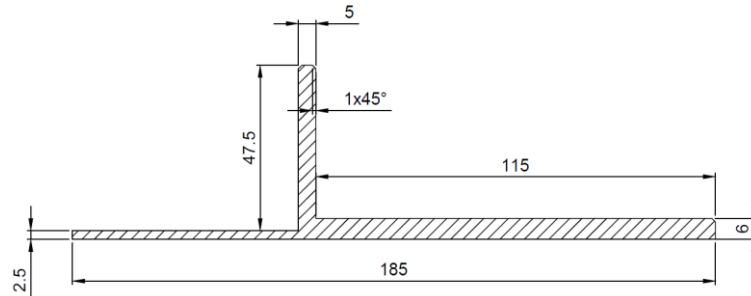
Obr. 23 znázorňující průběh namáhání potvrzuje, že při zatížení uprostřed délky kolejnice nedochází k takovému namáhání, které by jakkoliv naznačovalo ztrátu pevnosti, stability či funkčnosti vedení. Prohnutí viditelné na Obr. 24 i v nejnižším bodě dosahuje zanedbatelných 1,85 mm a potvrzuje tak, že bezpečnost není ohrožena.



Obr. 24 – Průběh deformace lineárního vedení při zatížení uprostřed jeho délky

Výsledky pevnostních analýz potvrzují, že takto navržený pojezdový mechanismus vyhovuje požadavkům dané aplikace.

4.6 Návrh a pevnostní analýza pojezdové plošiny

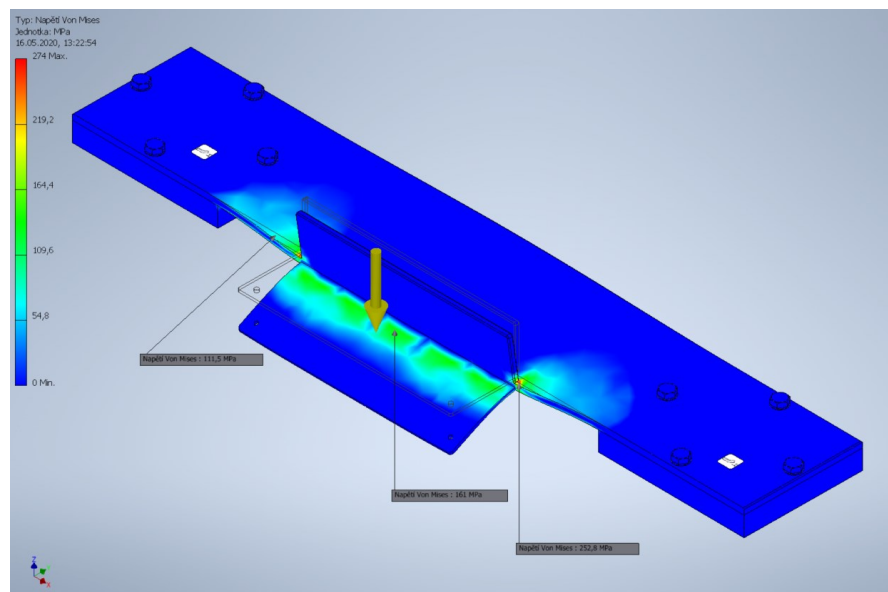


Obr. 25 – Řez pojezdovou plošinou

Na nosné desky pojezdového mechanismu jsem umístil ocelový plát délky 692 mm. Hloubka desky je 185 mm. Přední, 65 mm dlouhá, část je oproti zbytku desky ztenčena na pouhých 2,5 mm, aby ji bylo možné jednoduše umístit do mezery mezi sedačkovou lavicí a podlahou automobilu. Uprostřed desky je 47,5 mm vysoká část, která slouží jako doraz proti pádu lavice z mechanismu při manipulaci.

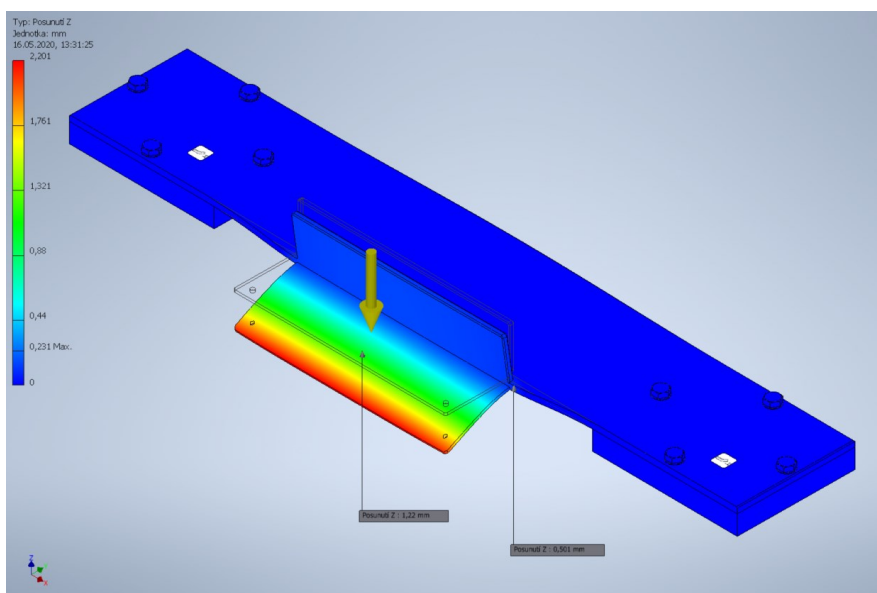
4.6.1 Pevnostní analýza pojezdové plošiny

Během pevnostní analýzy budu kritickou silou $F_{RK} = 2000$ N zatěžovat přední část pojezdové plošiny o rozměrech 220 x 65 x 2,5 mm. Při montáži a demontáži lavice bude celá váha břemene koncentrována právě v tomto místě. Pevné vazby jsem ukotvil na nosné desky pojezdových vozíků.



Obr. 26 – Průběh namáhání pojezdové plošiny při zatížení

Z výsledků pevnostní analýzy pojezdové plošiny jsem dospěl k závěru, že tloušťka zatížené části, pouhých 2,5 mm, je dostatečná. Výsledek analýzy potvrdil, že pojezdová deska svou pevností vyhovuje použité aplikaci.

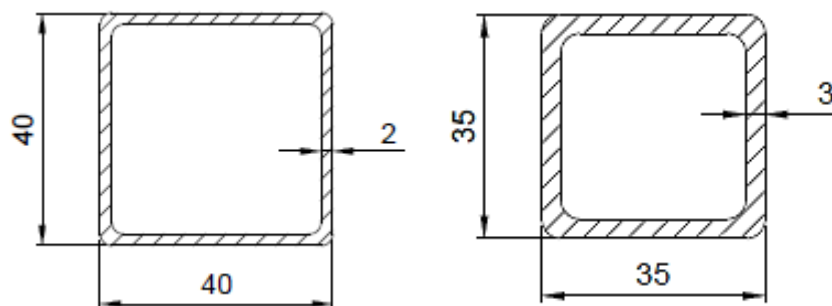


Obr. 27 – Průběh deformace pojezdové plošiny při zatížení

4.7 Návrh a pevnostní analýza zvedacího mechanismu

4.7.1 Volba profilového materiálu

Jako materiál pro zvedací mechanismus jsem zvolil kombinaci uzavřeného, tenkostěnného ocelového profilu čtvercového tvaru o rozměrech 40 x 40 x 2 mm a 35 x 35 x 3 mm.



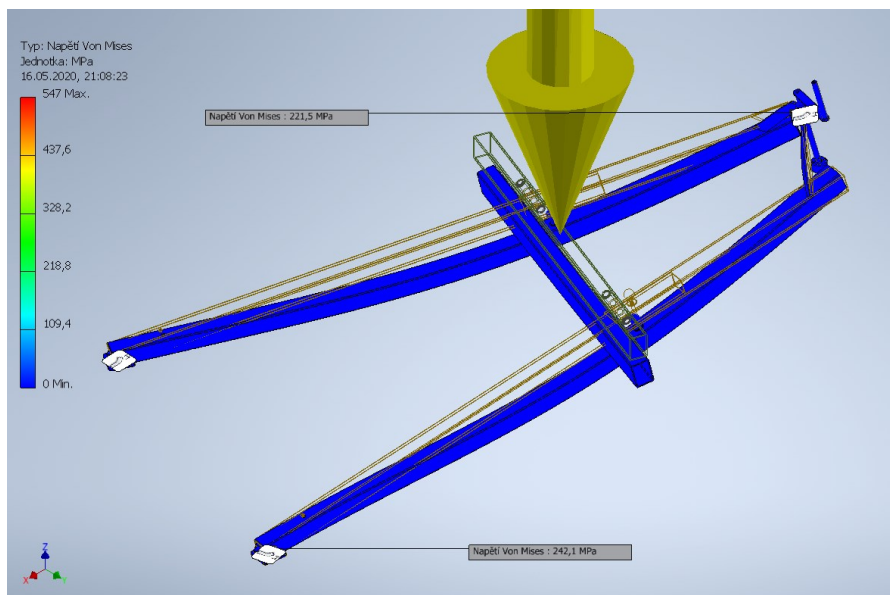
Obr. 28 – Řez ocelovými profily pro zvedací mechanismus

Dlouhou výsuvnou část součásti jsem navrhl z profilu s tloušťkou stěny 3 mm, protože bude zachycovat většinu ohybového namáhání. [2]

4.7.2 Pevnostní analýza zvedacího mechanismu

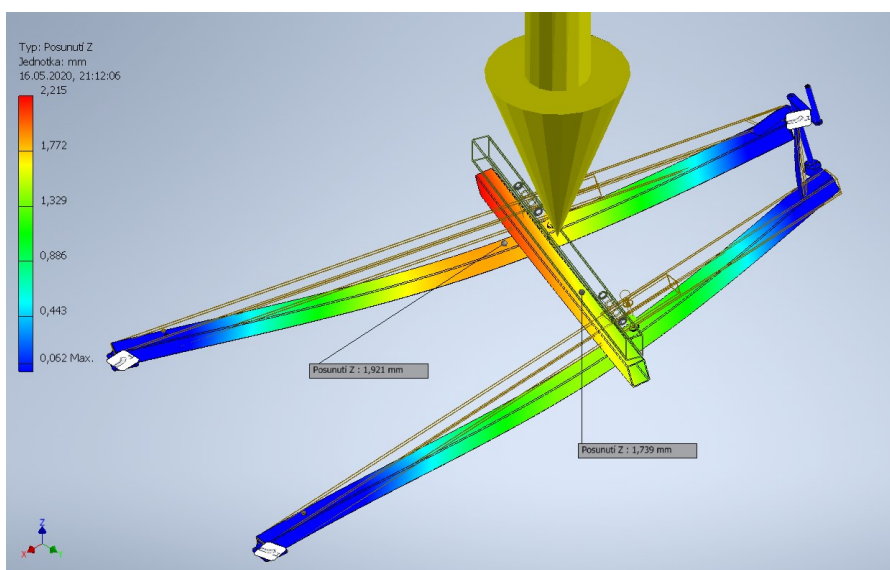
Při pevnostní analýze zvedacího mechanismu se budu zabývat pouze namáháním a deformacemi teleskopické tyče. Návrh a kontrola pohybového šroubu je předmětem další kapitoly.

Okrajové podmínky této analýzy jsem ohraničil pevnými vazbami na opěrných patkách zvedacího mechanismu a matici pohybového šroubu. Kritickou sílu $F_{KR} = 2000 \text{ N}$ jsem nechal působit na přední část rámové konstrukce, ke které je čepy uchycen zvedací mechanismus.



Obr. 29 – Průběh namáhání zvedacího mechanismu při zatížení konstrukce

Pevnostní analýzou jsem prokázal, že namáhání ani deformace v mechanismu nedosahují kritických hodnot, které by naznačovaly nestabilitu konstrukce. Pouze došlo k výskytu lokálních extrémů, které mohou být způsobeny nedokonalým síťováním při dělení konstrukce do jednotlivých kvadrantů. V takových případech může v meziuzlových vazbách dojít k náhlému nárůstu napětí. Mechanismus vyhovuje použité aplikaci.



Obr. 30 – Průběh deformace zvedacího mechanismu při zatížení konstrukce

4.7.3 Návrh a výpočet rozměrů pohybového šroubu pro zvedací mechanismus

Při návrhu pohybového šroubu jsem uvažoval s uložení šroubu do kulového lůžka pro možnost otáčení kolem své osy a zároveň zajištění možnosti náklonu šroubu při zvedání mechanismu. Jako nejvhodnější typ závitu pro daný účel jsem zvolil rovnoramenný lichoběžníkový závit, a to díky jeho dobré samosvornosti. [12]

Tab. 3 – Materiálové hodnoty pro zvolený materiál šroubu [12]

Materiál šroubu	11 423
R_e	230 [MPa]
β	1,3 [-]
k_s	3 [-]
f_z	0,15 [-]
m	85 [kg]

Osová síla

$$G = F_O = m \cdot g = 85 \cdot 9,81 = 833,85 \text{ N}$$

Předběžný výpočet průměru jádra

$$d'_3 = 2 \cdot \sqrt{\frac{\beta_k \cdot F_O \cdot k_s}{\pi \cdot R_e}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1,3 \cdot 833,85 \cdot 3}{\pi \cdot 230}} = 4,24 \text{ mm}$$

Tab. 4 – Základní rozměry lichoběžníkového rovnoramenného jednochodého závitu podle ČSN 01 4050 pro mnou zvolený průměr šroubu 10 mm [12]

P	d	D	d₂ = D₂	d₃	D₁
1,5 mm	10 mm	10,3 mm	9,25 mm	8,2 mm	8,5 mm

Úhel stoupání závitu

$$\psi = \arctg \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{2}{\pi \cdot 9,25} = 2,95^\circ$$

Redukovaný třecí úhel

$$\phi' = \arctg \frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \arctg \frac{1,5}{\cos\left(\frac{30}{2}\right)} = 8,83^\circ$$

Podmínka samosvornosti

$$\psi \leq \phi \rightarrow 2,95^\circ \leq 8,83^\circ$$

Obvodová složka síly

$$F_{TZ} = F_O \cdot \operatorname{tg}(\psi + \phi') = 833,85 \cdot \operatorname{tg}(2,95 + 8,83) = 173,90 \text{ N}$$

Obvodový moment složky síly

$$M_{TZ} = F_{TZ} \cdot \frac{d_2}{2} = 173,90 \cdot \frac{9,25}{2} = 804,29 \text{ Nmm}$$

$$M_{TO} = \frac{G}{2} \cdot f \cdot D_{TO} = \frac{833,85}{2} \cdot 0,15 \cdot 12 = 750,47 \text{ Nmm}$$

Celkový krouticí moment

$$M_K = M_{TZ} + M_{TO} = 804,29 + 750,47 = 1554,76 \text{ Nmm} = 1,55 \text{ Nm}$$

4.7.3.1 Pevnostní kontrola šroubu

Normálové napětí

$$\sigma_d = \frac{F_O \cdot 4}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{833,85 \cdot 4}{\pi \cdot 8,2} = 15,79 \text{ MPa}$$

Smykové napětí

$$\tau = \frac{M_{TZ}}{W_k} = \frac{F_O \cdot \operatorname{tg}(\psi + \phi') \cdot \frac{d_2}{2}}{\pi \cdot \frac{d_3^3}{16}} = \frac{833,85 \cdot \operatorname{tg}(2,95 + 8,83) \cdot \frac{9,25}{2}}{\pi \cdot \frac{8,2^3}{16}} = 7,43 \text{ MPa}$$

Guestova pevnostní hypotéza

$$\sigma_{\text{red}} \leq \sigma_D$$

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_d^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{15,79^2 + 4 \cdot 7,43^2} = 21,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k_s} = \frac{230}{3} = 76,67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{red}} \leq \sigma_d \rightarrow 21,68 \leq 76,67$$

Hypotéza splněna, šroub vyhovuje.

4.7.3.2 Kontrola na vzpěr

Tab. 5 – Mez kluzu a úměrnosti materiálu pro pohybový šroub [12]

Tyč válcovaná zatepla		$\sigma_{Kt} = \sigma_{kd} = R_{e\ MIN} \text{ [MPa]}$	$\sigma_u \text{ [MPa]}$
1.0040	11 423	230	70

Minimální kvadratický poloměr průřezu jádra šroubu

$$j_{MIN} = \frac{d_3}{4} = \frac{8,2}{4} = 2,05$$

Štíhlost poměru šroubu

$$\lambda_s = \frac{L_{VZP}}{j_{MIN}} = \frac{150}{2,05} = 73,17$$

Mezní štíhlost

$$\lambda_M = \pi \cdot \sqrt{\frac{n \cdot E}{\sigma_u}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{0,25 \cdot 210000}{70}} = 86,04$$

Kritické napětí

$$\begin{aligned}\sigma_T = \sigma_{KR} &= a - b \cdot \lambda_s = \sigma_{Kd} - \frac{\sigma_{Kd} - \sigma_u}{\lambda_M - 30} (\lambda_s - 30) = \\ &= 230 - \frac{230 - 70}{86,04 - 30} (73,17 - 30) = 106,75 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kritická síla

$$F_{KR} = \sigma_T \cdot S_3 = \sigma_T \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2 = 106,75 \cdot \pi \cdot \left(\frac{8,2}{2}\right)^2 = 5637,49 \text{ N}$$

Vzpěrná bezpečnost podle Tetmajera

$$k_{TET} = \frac{F_{KR}}{G} = \frac{5637,49}{833,85} = 6,76$$

$$k_{TET} \geq 2,5 \rightarrow 6,76 \geq 2,5$$

5 Závěr

Tato bakalářská práce je zaměřena na konstrukční návrh manipulátoru pro montáž a demontáž sedačkové lavice z osobního automobilu, konkrétně se týká vozu Volkswagen Multivan. Lavice je navržena pro maximální komfort a bezpečí posádky při cestování. Odvrácenou stranou tohoto provedení je minimalizace manipulačních bodů a vysoká hmotnost.

Při analýze problému se zabývám funkčními parametry lavice, jejím ukotvením, možnostmi manipulace vpřed a vzad v prostoru vozidla a polohou pro vyjmutí z kabiny vozu. Také jsem se zaměřil na kotvící mechanismus v podlaze vozidla. Zhodnotil jsem, jakými disponuje výhodami a nevýhodami. Nakonec jsem navrhl několik vylepšení, díky kterým by se proces montáže a demontáže usnadnil.

V následné praktické části jsem za využití teoretických znalostí různých konstrukčních strategií vytvořil strukturovaný popis požadovaných vlastností a funkcí, které mi dopomohly k vytvoření několika variantami provedení jednotlivých částí mechanismu. Zhodnocením možností a limitů obou variant jsem rozhodl o směru, kterým se návrh bude ubírat.

Následně jsem vytvořil hrubou strukturu konstrukce a začal jsem volit vhodný materiál pro jednotlivé části mechanismu. Snažil jsem se aplikovat taková řešení, u kterých je možné využití již existujících normalizovaných či unifikovaných komponentů.

Při navrhování jsem konstrukci rozdělil do několika samostatných celků. V každém z těchto uzlů jsem stanovil kritická místa, která jsem následně zatěžoval kritickou silou $F_{KR} = 2000 \text{ N}$. K tomu jsem využil systému Autodesk Inventor a podrobil kritická místa pevnostním analýzám s využitím metody konečných prvků, abych potvrdil jejich provozní bezpečnost. Na základě těchto analýz jsem musel původní rámovou konstrukci zesílit z původního uzavřeného ocelového profilu velikosti 35 x 35 x 2 mm na současných 50 x 35 x 2 mm, čímž jsem docílil dostatečné tuhosti.

Během návrhu vertikálních částí rámové konstrukce jsem se rozhodl původní statickou horní část přeměnit na naklápěcí. Tím jsem docílil rozšíření užitných vlastností mechanismu při skladování lavice. Díky tomuto vylepšení je možné naloženou lavici sejmut nejednou na polici se stejnou výškou jako manipulátor, ale také lze lavici položit na zem.

Nakonec jsem mechanismus opatřil otáčecími pojezdovými kolečky, která umožňují otáčení kolem svislé osy a ulehčují tak manipulaci s konstrukcí.

Použitá literatura

- [1] HUBKA, Vladimír. *Konstrukční nauka: obecný model postupu při konstruování*. 2. přepracované a doplněné vydání. Zürich: HEURISTA, 1995. ISBN 80-901-1350-8.
- [2] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-718-3164-6.
- [3] Civop: RUČNÍ MANIPULACE S BŘEMENY [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.civop.cz/rucni-manipulace-s-bremeny/>
- [4] Obloha na dlani: Historie a současnost robotiky [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.oblohanadlani.eu/odborne-clanky/historie-a-soucasnost-robotiky.html>
- [5] DELTALIFT: Paletové vozíky [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.deltalift.cz/paletove-voziky/standardni-do-2-5t/paletovy-vozik-bf-arm>
- [6] SimpleLift: Ruční vysokozdvizné vozíky [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://simplelift.cz/shop/vysokozdvizne-voziky/vysokozdvizny-vozik-fx20r116nv/?gclid=Cj0KCQjwzN71BRCOARIsAF8pjfg-NZE-hRz3IaaDIW0Sa6M3qSz_aaTJw85g02w9laP8nArBh9GnxjUaAkCwEALw_wcB
- [7] SimpleLift: Vysokozdvizné vozíky elektrické [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://simplelift.cz/shop/vysokozdvizne-voziky/zakladac-bt-staxio-hwe100-hwe100s/>
- [8] FORMÁNEK, Doc. Ing. Josef. Automatické řízení výrobní techniky. Dostupné také z: <http://home.zcu.cz/~formanek/mmvyuuka-arvt/Data/ivk-arvt-soubory/14-F.pdf>. Výukový text.
- [9] KOLEKTIV AUTORŮ. Třetí. Jeruzalémská 9, Praha 1: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2016. ISBN 978-80-87676-17-2. Dostupné také z: http://www.ceskyfocalpoint.cz/wp-content/uploads/2016/03/jak_na_bremena.pdf
- [10] Leonardo's robot. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo%27s_robot
- [11] Digesting Duck. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Digesting_Duck
- [12] KALÁB, doc. Ing. Květoslav, Ph.D. Části a mechanismy strojů: pro 2. a 3. ročníky bakalářského studia. Ostrava, 2015. Výukový text. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů.

- [13] T.E.A TECHNIK s.r.o.: Lineární vedení [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/alurol-1/>
- [14] Sbírka zákonů České republiky: Vládní nařízení o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí. In: . 2005, ročník 2005, číslo 101. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=101/2005&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Seznam příloh

- A. Výkres sestavy mechanismu
- B. Návod k použití
- C. Katalogový list lineárního vedení Alurol od společnosti T.E.A. TECHNIK s.r.o.